
Los PCM en los invernaderos

INVERNADEROS CON ACUMULADORES DE CAMBIO DE FASE

Manuel Domínguez; Carmen García; José M^a Arias

ICTAN. C.S.I.C. España

<http://www.grupodominguezinstitutodelfrio.es/>

Resumen

Se analizan los principales problemas que presentan los grandes invernaderos y se presenta una de sus posibilidades de resolución, el empleo de los acumuladores de cambio de fase o PCM, que pueden almacenar calor o frío en las horas del día o de la noche, que se disponga de ellos y devolverlo en las que se requiera, con objeto de evitar temperaturas extremas, que puedan dañar o disminuir la calidad y la producción. También podrían evitar las condensaciones de agua interna en invierno, facilitar la humedad y la concentración de CO₂ conveniente y prolongar su ocupación, haciéndolos más rentables y complementarlos con otros productos de mayor beneficio económico-

1- INTRODUCCIÓN

Los cultivos en invernadero han evolucionado grandemente en los últimos años, con ellos se ha conseguido cosechar productos vegetales en épocas del año muy diversas y con producciones muy grandes. Se requiere disponer de energía, agua y mano de obra barata y mercados cercanos. Los cuatro requisitos difícilmente se dan simultáneamente. Otro factor importante asociado ha sido el financiero, cualquier actividad económica requiere un retorno adecuado. Los gastos de inversión y de mantenimiento o explotación deben de ser compensados por los beneficios.

Los productos agrícolas tienen unos precios muy diversos en función de su demanda y del costo en su producción, transporte y conservación, es decir que varía de unas zonas a otras y de unas épocas a otras. En el caso Europeo, la climatología es muy variada y los grandes núcleos de población difieren mucho de las zonas de posible producción. En Israel, por problemas políticos se comenzó a desarrollar un tipo de cultivo en invernadero con importante éxito y después fue llevado a Almería, en donde en la actualidad se sobrepasan las 30.000 Ha. Ver figura 1.



Figura 1

Hay otros lugares como el norte de África, en donde se pueden dar las condiciones idóneas con respecto a la climatología y la mano de obra y solamente por barreras aduaneras puede impedirse que compitan con los Almerienses. En la figura 2 se indican las temperaturas típicas de Almería, máximas, medias de las máximas, medias, medias de las mínimas y mínimas, según datos del AEMET (20)

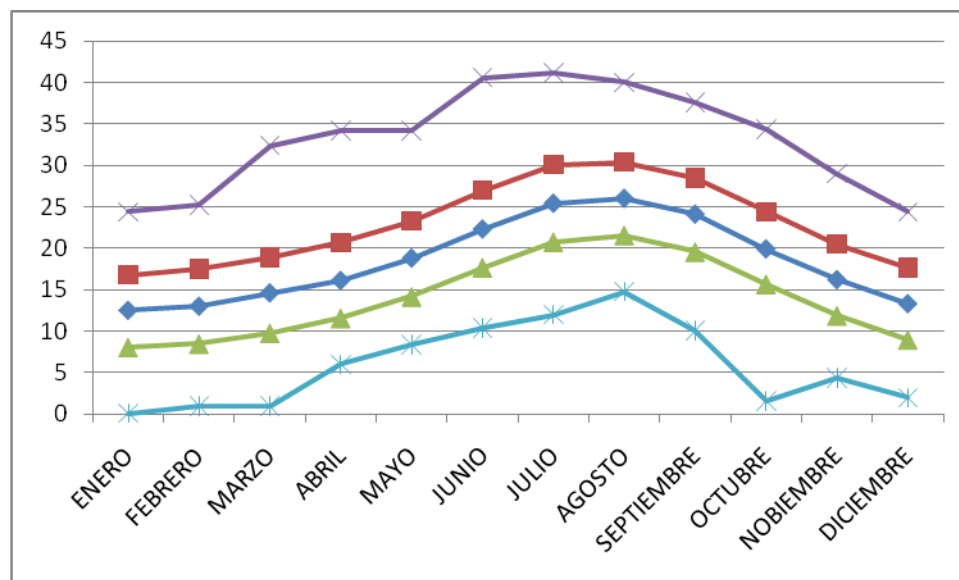


Figura 2

Hay otras zonas como el sur de España y de Extremadura o la zona equivalente de Portugal, en que se dan algunas de las condiciones adecuadas para su desarrollo. La climatología adversa puede paliarse mejorando el invernadero y /o gastando energía. El invernadero conocido como tipo Holandés es de este tipo y supone una inversión del orden de 4 a 5 veces al de plástico Almeriense. En los emiratos Árabes, en donde las condicionantes climáticas son más adversas por calor que por frío, por lo que el frío artificial cobra su importancia.

Se puede considerar, que desde el invernadero tipo holandés con calefacción, al de los emiratos árabes con climatización, pasando por el almeriense de plástico y de bajo precio, hay una gran diversidad y tiene que haber soluciones intermedias que se acomoden a otras soluciones o que permitan bien aumentar las producciones, escoger las variedades o productos más rentables o pasar, de dos a tres cosechas anuales.

En los invernaderos se puede producir temperaturas bajas en invierno y cálidas en verano, que impidan cultivar ciertos productos y tener que dejarlos fuera de servicio cierto tiempo del año o que las producciones decaigan grandemente. Se pueden

introducir: elementos de sombra, cobertores nocturnos, sistemas de aperturas y aireación, pesticidas, aumento y control de CO₂, sistema de humectación, lámparas de maduración, piscinas controlando la salinidad, para productos como la espirulina etc. A parte de los de climatización del aire o del suelo, la calefacción, el riego puede ser controlado o emplear el enfriamiento evaporativo. Hay pues un amplio espectro o campo tecnológico para encontrar la mejor solución a cada tipo de condiciones.

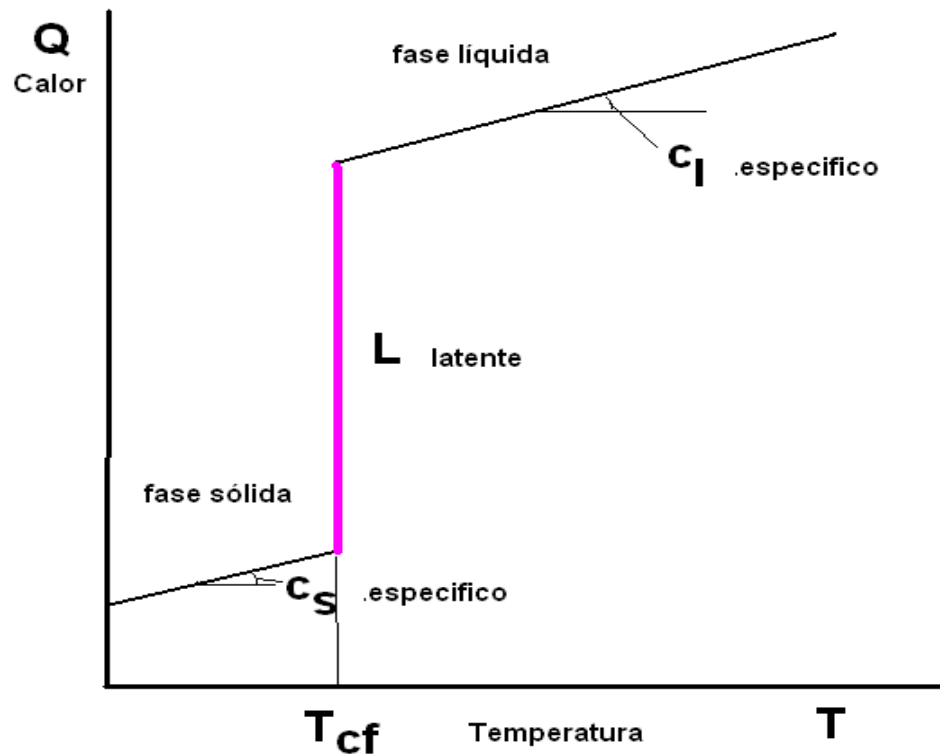
Entre las mejoras posibles de introducir en los invernaderos, pensamos que se encuentra el empleo de los materiales de cambio de fase o PCM como son conocidos, que corresponden a sus siglas en ingles. El objetivo pretendido es, indicar algunas de las posibilidades que se ven del empleo de estos materiales, para aumentar la temperatura en los meses fríos y reducirla en los cálidos.

2.- LOS PCM

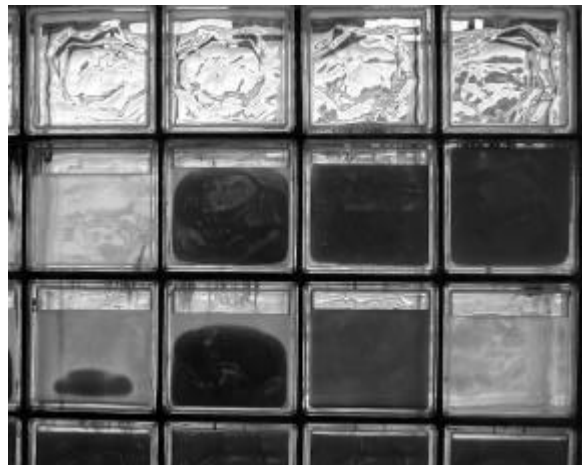
Los materiales de cambio de fase (1), (2), (4), se están empleando con gran efectividad en los últimos años: en el transporte de alimentos (10), (21), en la climatización (6),(7),(9),(11),(14) y (17), en la construcción (5), (13), (16) y en el aprovechamiento del frío gratis y del enfriamiento evaporativo (11), (12), (18). Se caracterizan, por permitir almacenar gran cantidad de calor o de frío, a una temperatura determinada, en poco volumen, por tiempo indefinido. Son ideales para aplicaciones de recuperación de energías térmicas y en el aprovechamiento de energías renovables muy variables en el tiempo, la solar es sin duda una de ellas. Se considera que, junto al enfriamiento gratuito del aire ambiente o “Free Cooling”, y con sistemas de cogeneración o de trigeneración, presentan un potencial muy importante (23), (24).

Una de las formas más sencillas y efectivas de empleo se ha visto, es introduciéndolo en los muro tipo Trombe (25), (26), que permiten la calefacción y la climatización respectivamente en invierno y en verano. Hace que el sistema, aparte de de captación solar y almacenamiento del calor, de impulse o mueva del aire, al provocar y mantener, la convección en el momento deseado.

En el resto de la bibliografía se indican algunos otros trabajos tenidos en cuenta y de los que se han sacado los datos sobre las temperaturas y otros datos de interés de los productos que se cultivan o pueden cultivarse en los invernaderos.



En el caso de los invernaderos, pueden emplearse los PCMs con gran eficiencia, colocándolos en la cara sur o dentro de ellos en la dirección NS, con ladrillos transparentes de vidrio, comúnmente conocidos como paveses de 8 cm. de espesor introduciendo en su interior los PCM, ver figura 3 y 4, se considera que son soluciones muy interesantes.



Los PCM en los invernaderos

Figura 3

En la tabla 1 se indican los datos de un muro Trombe con PCM en pavés de 200 m^2

Tabla 1

Dimensión del pavés	24*24*8	cms
Peso PCM por pavés	3	Kg
Superficie del muro	200	m^2
Peso del PCM total	9600	Kg
Capacidad de calor del muro	480.000	Kcal
Tiempo de carga promedio	5,9	h
Tiempo de descarga promedio	17,8	h
Potencia de calentamiento o enfriamiento	27.000	Kcal/h

En el caso de un invernadero de una hectárea el incremento o disminución de temperatura previsto sería de $2,7^\circ\text{C}$, con un coeficiente de transmisión global de $3,5 \text{ Kcal/h.m}^2\text{C}$, con otros sería inversamente proporcional.

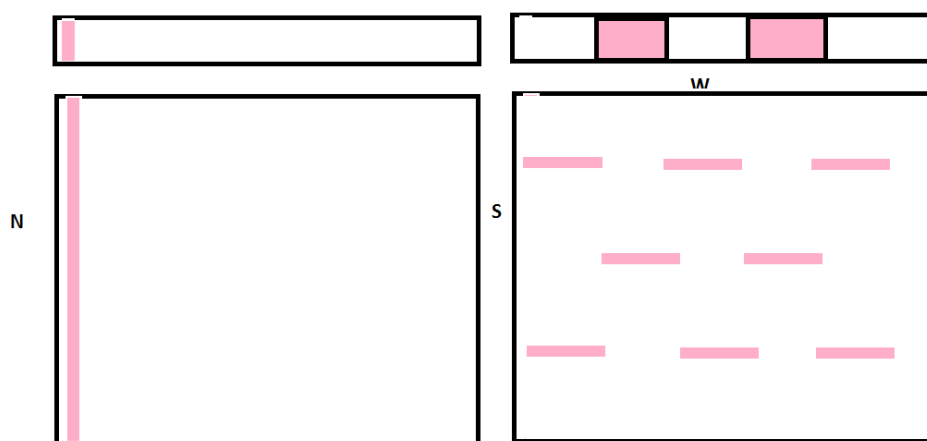


Figura 4

Los PCM en los invernaderos

La segunda aplicación que se propone, es colocarlo dentro de placas de plástico de dimensiones 48*28*3 cm. y formar unos paquetes con ellas, de separación de un centímetro y colocarlas a la aspiración de un ventilador. En los meses fríos cuando la temperatura del aire es superior a la del cambio de fase del acumulador, se funde y cuando es inferior se solidifica. Puede recircular el aire del invernadero cuando hay insolación y sube la temperatura y devolverlo por la noche. Se le aporta al invernadero una gran inercia térmica, que no dispone, suavizando las temperaturas internas grandemente y con ello la de las raíces que son básicas para su desarrollo. Ver figura 5; junto con aperturas exteriores y tomas de aire frío nocturno y con sistemas evaporativos, puede ser un elemento muy importante en la climatización de invernaderos. Con un termostato regulando el ventilador y un higrostat, el agua del sistema evaporativo puede controlar la temperatura y humedad del invernadero con gran precisión y de forma muy sencilla y económica.

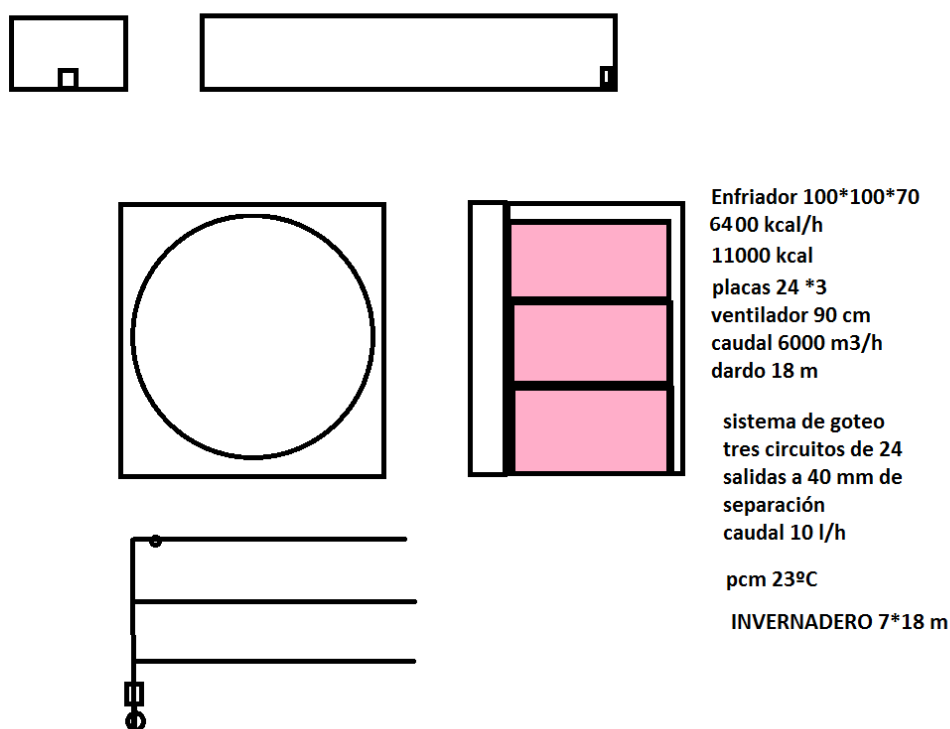


Figura 5

La temperatura de cambio de fase idónea dependerá de las temperaturas del ambiente, y de las que se pueden alcanzar en el interior del invernadero y de los sistemas escogidos. A tipo de ejemplo para el sistema de aire forzado con y sin enfriamiento evaporativo, se han indicado en la figura 6, las temperaturas del ambiente exterior en días típicos de verano, cuadros de color rojo y temperaturas medias de invierno dentro del invernadero, rombos de color azul, se tendrían como temperaturas

Los PCM en los invernaderos

aconsejables las de 22°C, triángulo verde y con el enfriamiento evaporativo de 20°C, aspás violetas.

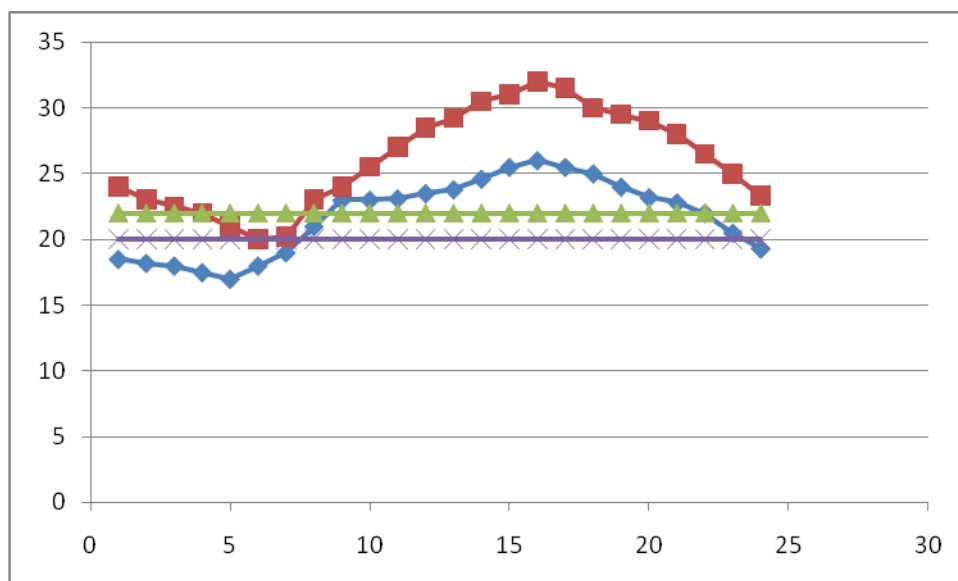


Figura 6

En la tabla 2 se recogen los datos de una unidad de enfriamiento de dimensiones 2*2*0,7 m con placas de 48*28 *3 cm., colocándolas horizontales.

Tabla 2

Número de placas	500	
Calor acumulado en placas	75000	Kcal
Caudal de aire	27469	M ³ /h
Dif. temperatura en el aire	3	°C
Potencia térmica	25710	Kcal/h
Peso del PCM	1500	Kg
Superficie de Invernadero	10.000	M ²
Nº unidades para el invernadero	6	
Capacidad de calor	450.000	Kcal
Tiempo previsto de carga	3	h
Tiempo previsto de descarga	6	h
Coef.global de transmisión	3,5	Kcal/hm2
Salto de temperatura del interior del invernadero	2,1	°C

3.- PROBLEMÁTICA DE LOS INVERNADEROS DE ALMERIA

La zona costera que tiene una temperatura amortiguada por el mar de dimensiones 70 por 15 Km., está totalmente saturada de invernaderos y escasea el agua no salobre. Las zonas altas y separadas de la costa son más extremas en sus temperaturas y por ello requieren climatizarlos. La superficie total de invernaderos se estima entre 25.000 a 30.000 ha, de los cuales el 10 % están calefactados, el costo del gas o fuel es muy elevado y solamente se usa para calentar un poco y evitar las bajas temperaturas nocturnas de los meses fríos, que llevan a las plantas a un estado de invernación o paro biológico de desarrollo.

En esos meses las humedades relativas interiores aumentan por las noches y se produce la condensación y la lluvia que perjudica a las plantas, tarda más en subir la temperatura por el día y dificulta la entrada de luz a las primeras horas del día.

En los meses cálidos por el contrario las temperaturas interiores son muy altas en las horas del día, haciendo muy difícil los trabajos en el interior y poniendo en peligro a las plantas, los meses de julio y agosto están perdidos para la producción. En la tabla 3, se indican las temperaturas recomendadas durante la noche y el día, para los productos más usuales en estos invernaderos.

El exceso de producción y el costo cada vez mayor de los invernaderos, junto con el aumento de la mano de obra y la competencia de los invernaderos del Norte de África, hace difícil dar intereses adecuados para la explotación. Por un lado se tiene la competencia del norte de Europa con mercados más cercanos y subvenciones del combustible por sus gobiernos o la propia comunidad europea y por otro lado la mano de obra muy inferior del norte de África.

Se cree que la posible solución se puede encontrar en tecnificar los invernaderos, mejorar las explotaciones y comercializaciones, aumentar las producciones y las calidades y sobre todo, resolver los problemas que tienen que han sido referenciados.

Se debe tener presente que las plantas prosperan y dan más y mejores frutos, controlando los nutrientes, las humedades y los contenidos de CO₂ y en las perennes como son los tomates, manteniéndolas en producción todo el año. La concentración de CO₂ normal del aire es de 0,03%, siendo tóxica a partir de 10 veces esa proporción. En las horas de máxima radiación solar, se requieren concentraciones en los invernaderos entre 0,1 al 0,2 %.

Tabla 3. Exigencias de temperatura para distintas especies

	TOMATE	PIMIENTO	BERENJENA	PEPINO	MELÓN	SANDÍA
Tª mínima letal	0-2	(-1)	0	(-1)	0-1	0
Tª mínima biológica	10-12	10-12	10-12	10-12	13-15	11-13
Tª óptima	13-16	16-18	17-22	18-18	18-21	17-20
Tª máxima biológica	21-27	23-27	22-27	20-25	25-30	23-28
Tª máxima letal	33-38	33-35	43-53	31-35	33-37	33-37

Hay muchos factores además de la temperatura a tener en cuenta en los invernaderos, variando con los diversos productos y con el clima a lo largo del año, como los nutrientes, el riego, los tratamientos de injerto, poda etc. A tipo orientativo se han recogido en la tabla 4, los datos que se han considerado más relevantes para los productos habituales de los invernaderos españoles, la información se ha obtenido como en la tabla 3 de la bibliografía recogida.

Los márgenes comerciales de la mayoría de los productos cultivados en los invernaderos en España son muy reducidos y no permiten pensar en la climatización por el momento. Se ha visto sin embargo que aprovechando al máximo el calor solar, el frío del aire, el enfriamiento evaporativo y la combustión de la propia biomasa producida, utilizando los PCM y un adecuado sistema de control podrían llegarse a sistemas rentables que puedan potenciar de nuevo a esta importante rama de la agricultura. En las tabla 3 y 4 se recogen los principales parámetros importantes a tener presente en los cultivos en invernadero

Los PCM en los invernaderos

Tabla 4

Productos		Tomate	Pimiento	Pepino	Berenjena	Fresa	Calabacín
Temperatura	°C	10	13	12	10	8	
máxima		35	32	30	45	24	
En semilla			20/25				
En germinación			16/15				
En floración			18/28				
Tiempo	Días						
En semilla		30/35					
En germinación		45/60					
En floración		30					
Humedad	%	60/80	50/70	60/90	50/65		
Precio medio	€	1/2,5	0,9/1,1	1,3	0,56	1/5	1,75
Biomasa	Kg/m ² año	30/100				2	
Riego	l/m2.día	2	1,5/4				0,5/2,2
Luminosidad	h/día				10/12<		12<
Producción	Kg/m2	12/85	3/60				

Cualquier desarrollo y este es uno de ellos, requiere pasar por etapas de optimización, industrialización y comercialización, que se espera pueda producirse en los próximos años. Cualquier problema técnico tiene al final una solución económica.

En la figura 7, se ha indicado un esquema de principio que facilitará entender nuestra propuesta para llegar a una posible solución de los invernaderos. Midiendo tres temperaturas; interior del invernadero, retorno del aire al climatizador y la del ambiente exterior, la humedad relativa del invernadero y la concentración de CO₂. Se considera que con un sistema apropiado de control actuando convenientemente sobre: el funcionamiento de los ventiladores, la alimentación de agua al sistema evaporativo y las compuertas de recirculación o toma exterior de aire, se podrán conseguir las condiciones más adecuadas a lo largo del proceso de explotación del invernadero, que junto con los cuidados de: riegos, inseminación, tratamientos sanitarios y dosificación y nutrientes, conducirán a calidades y rentabilidades altas de explotación.

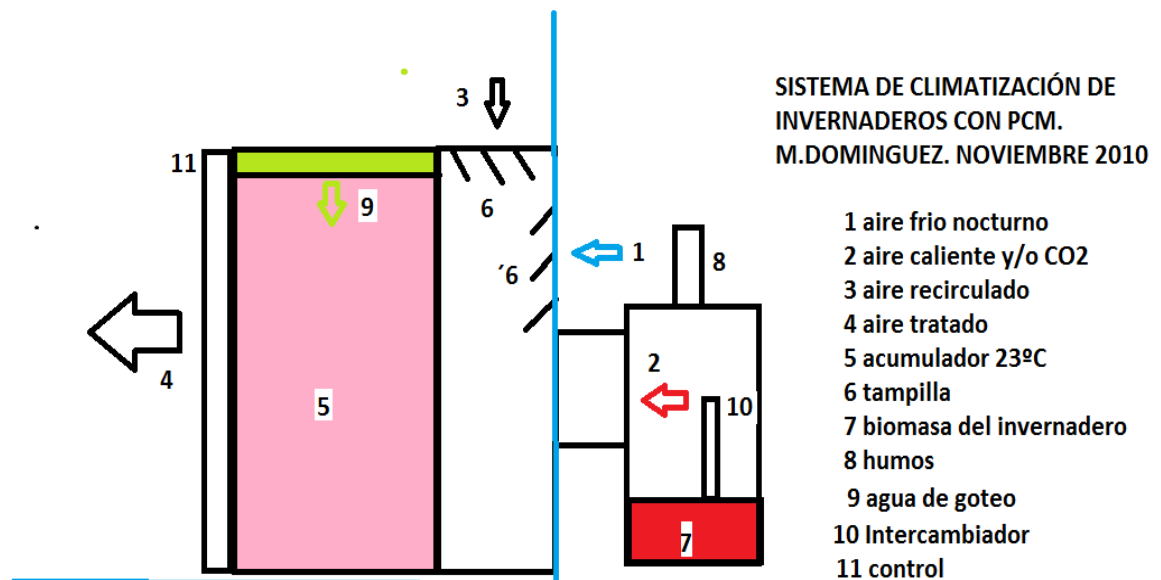


Figura 7

En la figura 8 se indica otra variante pensada a base de chimeneas repartida por el invernadero ,formadas por un quemador de biomasa similar a los de la gloria castellana y ascendiendo el aire caliente y humo por entre las placas con salida del CO₂ , al interior del invernadero o al ambiente exterior.

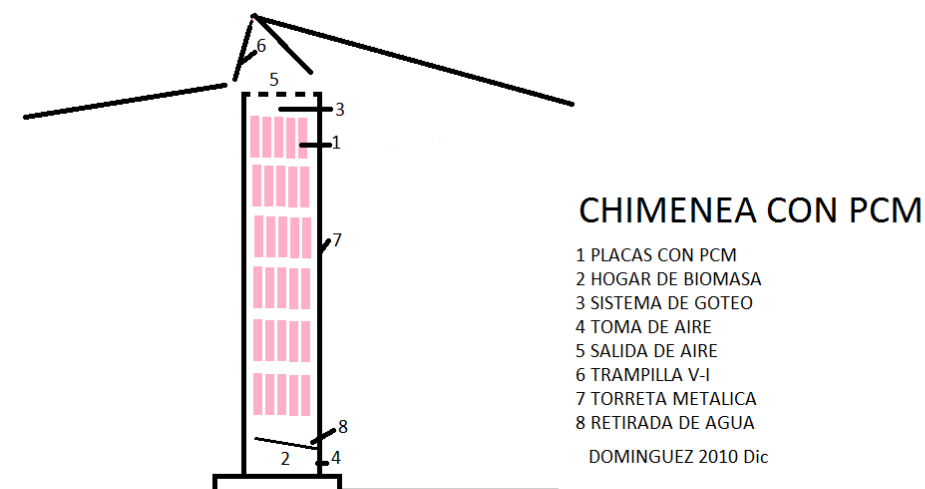


Figura 8

4.- ESTUDIO ECONOMICO

Partiendo del precio del invernadero de una hectárea (22), se han resumido en la tabla 5 para cuatro tipos de invernaderos los cálculos del TIR para el primer año y los siguientes, los tres primeros con acumuladores o PCM. Se han variado los precios de los invernaderos. El aumento esperado del TIR se ha estimado en un 18 %, pero es posible que fuese mayor, estudiando nuevos productos y estrategias de producción en otras épocas.

Los PCM en los invernaderos

Tabla 5

	A	B	C	D	
	COSTO	301205	240964	180723	301205
	GASTO	30120	30120	24096	30120
	BENEFICIO	54217	54217	54217	42169
	PCM	30120	30120	36145	0
1º AÑO	TIR	7,3	8,9	13,9	4
RESTO	TIR	8	10	16,7	4

Los costos de los invernaderos están relacionados con las producciones o beneficios, los de tipo Holandés cuestan cerca de los 100 €/ m² y pueden llegar a producir 75 Kg. /m², los Franceses y Españoles de buena calidad los 60 €/m² y producir de 45 a 50 kg/m² los Mejicanos la mitad y los de bajo costo de Almería y norte de África otra mitad, tanto en costos como en producción. Los gastos anuales también son muy importantes, destacándose: la mano de obra, la energía, los fertilizantes, en los holandeses su vida media está cerca de los 15 años y en los otros, los plásticos buenos duran del orden de cinco años a uno, según precios y calidades.

El precio de los productos varía a lo largo del año y de las campañas, en invernadero o producción, suele ser su precio, la mitad que en consumo, en general el tomate supera esta relación y los pepinos están por debajo. El transporte es importante en el precio final, pero con el desarrollo de los barcos portacontenedores y las redes de frío no afecta tanto. En la figura 9 se indican a tipo de ejemplo datos de consumo de tomate en USA a lo largo del año indicando, junto a su procedencia.

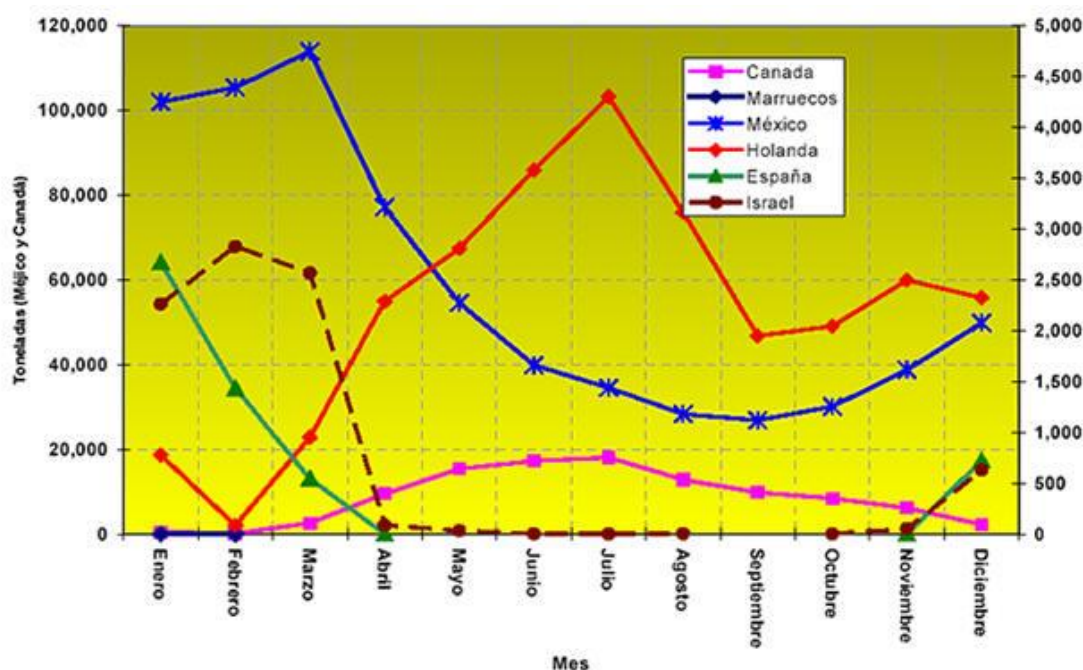


Figura 9

5.- DISCUSIÓN

La agricultura ecológica está apareciendo en los países más desarrollados se puede considerar como una exigencia en cierto tipo de población y los sobrecostos se están admitiendo y terminará entrando en los invernaderos, en donde se irá más a la calidad, que a las producciones masivas. Las cadenas alimenticias son complejas y la agricultura bajo cubierta es cada día más importante.

Las cadenas de distribución se imponen también y quieren estabilidad en los productos y disposición de ellos a lo largo de todo el año, la reducción de los tiempos de permanencia en almacenes de frío les es fundamental, quieren acortar los tiempos entre la compra y la venta y rotar mucho los productos, el enlatado o envasado no es su gran negocio, pero tampoco quieren riesgos de pérdida de productos perecederos, por ejemplo el poder retirar durante 48 semanas tomate a un ritmo similar al de consumo les es muy importante, el ser o no la planta perenne tiene gran interés conocerlo y aprovecharlo; el tomate lo es..

El costo de la energía es impredecible, contar con los combustibles fósiles es muy arriesgado y hasta que no se desarrolle otro vector energético de transporte y acumulación como podrá ser el hidrogeno, se debería pensar emplear los recursos económicos y sostenibles, el sol, el aire, y la propia biomasa, procedente de la agricultura. Dada su intermitencia y desfase entre su disponibilidad y las de su empleo se considera que los acumuladores de calor pueden ser la solución, pues pueden corregir estos inconvenientes. En el caso de aprovechar el CO₂ de la combustión de

dicha biomasa, dado que este se debe introducir precisamente en las horas de más luminosidad y de mayor temperatura, el desfase del calor diurno a la noche, es decir el almacenamiento de la energía térmica que producen, es fundamental.

La otra magnitud básica en la agricultura es la humedad del aire, los intervalos de optimización son cortos y ligeramente variables según productos, si es escasa se puede aumentar mucho la evaporación en la planta y si es elevada, se favorecen los microorganismos patógenos y la necesidad de tratamientos químicos, poco recomendados para el consumo humano; aparte de las inadecuadas condensaciones nocturnas y las lluvias inadecuadas.

Las aperturas de ventanas entrañan riesgos y pueden sustituirse por renovaciones de aire mecánicamente controladas. El control y la informática pueden aportar mucho a la calidad y economía en la industria de la alimentación.

Aparte de los posibles beneficios, por producir más y por controlar mejor la temperatura durante todo el año, se considera interesante, el poder acortar los tiempos de maduración y poder escoger productos de mayor valor añadido y reducir los riesgos por calor o frío. También se considera interesante, poder construir invernaderos nuevos, en regiones de suelo o de agua más económica o más próximas a núcleos urbanos o a medios mejores de transporte. Se podría descongestionar zonas actuales de concentración urbana o de invernaderos, de costes del suelo elevado, potenciando industrias auxiliares y residencias dignas, asentando población inmigrante en ellas, etc. Todo lo cual, favorece la explotación de los acuíferos que terminarían contaminándose o haciéndose salados, y se podría evitar hacer macro desaladoras marinas, altamente contaminantes en la zona costera y muy costosas de mantenimiento.

Se podrían urbanizar estas nuevas zonas, incluyendo plantas recuperadoras de biomasa y destructoras de residuos plásticos etc., aprovechando la electricidad, el calor y el frío, tendiendo a una agricultura sostenible, de acuerdo con las directrices de la Comunidad Europea, a la cual se podría recurrir en busca de apoyo como consiguió Holanda en sus invernaderos.

Sería conveniente hacer un invernadero prototipo de tamaño reducido, en donde se probasen estos materiales y nuevos sistemas, que monitorizándolos permitiesen potenciar el tema y reducir costos al acortar los márgenes de seguridad.

Se podrían desarrollar invernaderos más tecnificados, para productos de mayor valor comercial como la espirulina, que se comercializa a los 0,5 g a 18 € y controlar de forma automática y precisa, aparte de la temperatura, la humedad y la concentración de CO₂, y hasta la radiación solar.

Aparte de los productos prohibidos en muchos países como la marihuana y el cannabis, se pueden cultivar otros como jengibre, salvia, menta, romero, tilo, naranja, espinaca y las plantas ornamentales, así como una lista grandísima de productos de mayor precio como: mango, aguacate, fresa salvaje, nectarina, noni, níspero, papaya, tamarindo, pomarrosa, pitaya, maracuyá, mora, fruto del pan, feijoa, anacardo, carambolas, chirimoya, mamey, kiwi, caqui, guayaba, grosella, frambuesa, arándano, albaricoque, y judías francesas enanas, etc.

Se podían potenciar zonas pantanosas salobres, como el delta del Guadalquivir y hasta potenciar los Monegros y las estribaciones pirenaicas, con invernaderos o granjas avícolas o porcinas, con tecnologías similares a las descritas.

El efecto dominó en este campo es muy importante, se considera que no hay término medio, demostrada la viabilidad económica y retornos económicos del orden de un año, puede haber una expansión muy importante.

Cada producto y en cada localidad habrá un sistema de cultivo y de comercialización adecuado y el que tenga un coste menor en cada momento y lugar de consumo, será el que se imponga. Los pequeños productos locales pueden evolucionar en la agricultura tecnificada y en la ecológica, y masificarse en cualquier lugar. Los costos de producción, financiación y comercialización, pueden justificar cualquier nuevo negocio en el sector de la alimentación, de las conservas, de las plantas ornamentales y en el sector farmacéutico.

6.- CONCLUSIONES

Se considera que el aprovechamiento del calor que pueden acumular los materiales de cambio de fase (PCM), en la agricultura en invernaderos pueden ser muy importantes y contribuir a resolver los problemas actuales de este sector en España. Las técnicas que se presentan y discuten, de los muros tipo Trombe con paveses transparentes o baterías de placas con aire forzado, sin o con enfriamiento evaporativo, con o sin calderas de biomasa e intercambiadores de calor y/o aporte de CO₂ de la combustión a los invernaderos, pueden ser idóneas para este tipo de aplicaciones.

Los primeros que se decidan a producir en invernaderos productos demandados, aunque sea localmente y llegar a sus mercados, pueden hacer grandes negocios como ha sido el chile habanero con producciones sostenidas de 0,4 kg semanales por m². Aparte de los productos de invernadero clásicos: tomate (jitomate), pimiento, chile habanero, pepino, sandía, berenjena, judía (egote), calabacín, hay otros muchos de menor producción, pero que no deben de olvidarse.

7.- REFERENCIAS

- 1] B. Zalba, J M. Marín, F. Luisa Cabeza; H. Mehling. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications Applied Thermal Engineering Volume 23, Issue 3, 251-283 (2003)
- 2] F. Kaltenbach PCM- Acumuladores de calor latente para calefacción y refrigeración. Detail. Arquitectura solar. 4. 482,486. (2005).
- 4] B. Zalba, J.Mª Marin A. Lázaro, P. Dolado, M. Medrano, L.F. Cabeza. Investigación y desarrollo de aplicaciones del almacenamiento térmico de energía con materiales de cambio de fase. El Instalador. Febrero. 2007. 138,148.
- 5] Frédéric Kuznik, Joseph Virgone, Jean Noel. Optimisation of a phase change material wallboard for building use. Applied Thermal Engineering, (28), Issues 11-12, 1291-1298 (2008)
- 6] M., Domínguez C. Gracia. Los acumuladores de calor de cambio de fase a temperaturas positivas en la climatización. Cytef-2007 IV Congreso Ibérico y II Congreso Iberoamericano. Ciencias y técnicas del frío (2007)
- 7] M Domínguez, C. García. Aprovechamiento de los materiales de cambio de fase (PCM) en la climatización.CIT Agosto (2009)
- 8] M. Domínguez.; J, C García; M; Arias. Estudio térmico en tubos enterrados circulando aire. Montajes e instalaciones nº 426 abril 2008. 74,78.
- 9] La acumulación de frío con materiales de cambio de fase. Microencapsulación <http://hdl.handle.net/10261/12566>
- 10] La cadena del frío de productos farmacéuticos <http://hdl.handle.net/10261/11503>
- 11] M. Domínguez; J. Culubret. Nuevo sistema de climatización empleando el enfriamiento evaporativo y los acumuladores de cambio de fase. Montajes e Instalaciones n º 365. Oct. 2002. 53,57
- 12] M. Domínguez; J. Culubret; J. A. Barbero. Ventajas de los nuevos acumuladores de frío en las redes de telecomunicaciones. BIT. Nº 125.Enero-feb. 2001. 92,94
- 13] L.E Gómez.; M. Domínguez. Proyecto de edificaciones escolares bioclimáticas en Colombia. El Instalador especial julio-agosto Nº 338. Energías renovables II.64,72 (2002)
- 14] Gu, Zhaolin; Liu Hongjuan, Li Yun. Thermal energy recovery of air conditioning system—heat recovery system calculation and phase change materials development. Applied Thermal Engineering, (24), 2511-2526 (2004)

15] Aplicaciones de los PCM en el frío

<http://hdl.handle.net/10261/12564>

16] Los materiales de cambio de fase (PCM) en la construcción.

<http://hdl.handle.net/10261/7361>

17] Aprovechamiento de los Materiales de Cambio de Fase (PCM) en la Climatización

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642009000400012&script=sci_arttext

18] Algunas posibilidades de aplicación de los acumuladores de cambio de fase en las energías renovables.

<http://digital.csic.es/handle/10261/13451>

19] Eficiencia energética en el campo del frío.

<http://digital.csic.es/handle/10261/20022>

20] Aemet agenda 2009

21] Los PCM en el transporte de productos perecederos

<http://digital.csic.es/handle/10261/7637>

22] Almería: el final de la gran cosecha

<http://www.aldearural.com/subcategorias/documentacion/informesinvernaderos.htm#elaguainvernadero>

23] Domínguez M. ; García C.; Pinillos J^a M. ;Culubret J. El empleo de los materiales de cambio de fase en agricultura y ganadería. Agricultura. n° 879 nov. 2005.818, 822.

http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agri\Agri_2005_879_completa.pdf

24] Aplicaciones de los Materiales de Cambio de Fase (PCM) en la climatización y en la construcción

<http://www.upcomillas.es/catedras/crm/seminario.html>

25] Domínguez M., Pinillos J. M, García C., Gutiérrez P. Sistema pasivo de climatización.

Patente de invención. N° 9900558. España, 18 mar (1999)

26] Faustini C. Análisis del aprovechamiento energético de los acumuladores de cambio de fase en algunas propuestas constructivas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela de Arquitectura (2007).

27] Barragán V.M.; Arias J.M^a; Dominguez M; Garcia C. Testing the computer assisted solution of the electrical analogy in heat transfer processes with a phase change which has an analytical solution. International journal of refrigeration IIF. VOL 25 N° 5 Ag 2002.552-537 (2002)

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V4R-466H8BW-4&_user=4225285&_coverDate=08%2F31%2F2002&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000048559&_version=1&_urlVersion=0&_userid=4225285&md5=a52304e301920cc2b699b516c9ac5a6b

28] Simulación y comprobación del tiempo de solidificación de un MCF (PCM) en un cilindro.

<http://digital.csic.es/handle/10261/6232>

29]

<http://www.neiker.net/muestracontenido.asp?idcontenido=2322&content=6&nodo1=130&nodo2=>

30]<http://www.rufepa.com/index.htm>

31]<http://www.ideal.es/almeria/v/20101205/agricultura/diferencial-precio-entre-origen-20101205.html>

32]http://www.google.es/search?sourceid=navclient&hl=es&ie=UTF-8&rlz=1T4GFRE_esES361ES361&q=producciones+en+invernadero#q=producciones+en+invernadero&hl=es&rlz=1T4GFRE_esES361ES361&nfpr=1&prmd=iv&ei=7dv8TImSLYmy8QOTif3PCw&start=40&sa=N&fp=35a6dc3cc4f3d085

33]<http://www.horticom.com/empresas/s/calefaccion-y-control-climatico/44>